



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

ILMARI RANTA  
KYSYNTÄJOUSTOPALVELUIDEN HYÖDYT PIENTALOISSA

Kandidaatintyö

Tarkastaja: Juhani Heljo

## TIIVISTELMÄ

**Ilmari Ranta:** Kysyntäjoustopalveluiden hyödyt pientaloissa

Advantages of demand response services at a detached house

Tampereen teknillinen yliopisto

Kandidaatintyö, 25 sivua

Toukokuu 2017

Rakennustekniikan kandidaatin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennustuotanto

Tarkastaja: Juhani Heljo

**Avainsanat:** Kysynnänjousto, sähkömarkkinat, pientalot, sähkölämmitys

Sähkötuotannon siirtyessä fossiilisista polttoaineista kohti uusiutuvia energianlähteitä, lisääntyy tuotannon vaihtelu. Koska sähköverkossa tuotannon ja kulutuksen on aina oltava tasapainossa, on joustavan kysynnän lisääminen ehdoton edellytys sähkömarkkinoiden toiminnalle tulevaisuudessa. Tähän asti teollisuus on voinut tarjota omia suuria kuormiaan sähköverkon joustoresursseiksi, mutta tietoverkkojen ja ohjaustekniikan kehittyessä voidaan myös pientalojen kuormia käyttää kysyntäjoustopalveluiden lisäämisessä.

Pientalojen kuormienohjauksessa erityisesti lämmityskuormat muodostavat huomattavan potentiaalin jouston näkökulmasta. Makkinoille onkin tullut palveluja, joilla pientalojen lämmityskuormia voidaan ohjata älykkäästi. Palvelujen kerrotaan säästävän lämmityskuluissa merkittäviä määriä vuosittain sekä kuormanohjauksien että lämmityksen tarkemman ohjauksen avulla. Kuormienohjauksella voidaan pienentää ostettavan sähkön hintaa, kun sähköä ostetaan pörssihinnoilla. Pörssissä sähkön hinta vaihtelee tunneittain kysynnän mukaan, ja mitä enemmän kysyntää sen korkeampi hinta siitä on maksettava.

Kysyntäjoustolla on merkitystä sekä kuluttajalle että koko sähköverkolle ja -markkinoille. Sähkömarkkinoiden kannalta kysyntäjousto on pääosin positiivinen, koska sen avulla tasataan sähkönkysyntää. Kysyntäjoustopalveluiden avulla kulutus voi reagoida nopeammin tuotannon muutoksiin, eikä varavoimaa jouduta käyttämään yhtä paljon. Verkkoyhtiöiden kannalta kysyntäjousto aiheuttaa ongelman, koska se saattaa aiheuttaa verkon kapasiteetin ylittymisen. Jotta sähköverkon toiminta ei vaarantuisi, tulisi siirtomaksut muuttaa tehopohjaisiksi.

Työssä tehtyjen oletusten perusteella kysyntäjoustopalveluilla voidaan saavuttaa huomattavaa taloudellista säästöä. Kun sähkölämmitystä ohjataan älykkäästi, voidaan lämmityskuluja pienentää jopa 20-30 % vuosittain.

Raumalla, 30.05.2017

Ilmari Ranta

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	KYSYNTÄJOUSTON PERIAATTEET .....	2
2.1	Sähkömarkkinoiden muutos .....	2
2.1.1	Sähköenergian hinta .....	2
2.1.2	Mismatch-ilmiö .....	5
2.2	Kysyntäjousto .....	7
2.2.1	Kuluttaja .....	7
2.2.2	Sähkönmyyjä .....	8
2.2.3	Verkkoyhtiö .....	9
3.	KYSYNTÄJOUSTO PIENTALOISSA .....	11
3.1	Kuormanohjausmahdollisuudet pientaloissa .....	11
3.2	Kysyntäjoustopalvelut .....	13
3.3	Aineisto .....	16
4.	TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU .....	20
5.	YHTEENVETO .....	23
	LÄHTEET .....	26

# 1. JOHDANTO

Kysyntäjoustolla tarkoitetaan sähkönkulutuksen ohjaamista niihin hetkiin, jolloin sähkönkysyntä on koko verkon alueella vähäistä. Kysynnäjouaston tarkoituksena on verkon huippukuormien pieneminen ja toimintavarmuuden kasvaminen. Pörssisähkön yhdistäminen kysyntäjousto on mahdollistaa säästöt sähkökuluissa. Kun sähkö on pörssissä halpaa, voidaan kulutusta lisätä, ja hinnan noustessa kulutusta vähentää. Sähköpörssissä sähkön hinta vaihtelee, sen mukaan paljonko sähköä tuotetaan ja kulutetaan. Tästä syystä sähkö on halpaa, kun kulutus on pientä. Toisaalta, kun sähkön kulutus kasvaa, kustannukset nousevat. Aikaisemmin pienasiakkailla on ollut käytössä yö-päivä -sähkösojpmuksia, jossa hinta vaihtelee vuorokauden ajan mukaan. Tällöin veloutus on kuitenkin kiinteä, ja asiakkaalle on vain kaksi eri hintaa riippuen vuorokauden ajasta. Nykyään, kun tietoverkot ovat kehittyneet, voidaan veloutuksessa käyttää sähkön tuntihintoja. Kun tietoja voidaan välittää eri toimijoiden välillä reaaliajassa, pystytään myös pienasiakkaiden kysyntäjoustoia kehittämään ja lisäämään merkittävästi.

Kysyntäjousto on koko verkon kannalta merkittävä asia. Ennen, kun sähkön kysyntä ylitti tuotannon, tämä erotus katettiin polttamalla hiiltä tai muita fossiilisia energianlähteitä. Kun sähkön tuotantoa pyritään siirtämään pois hiilestä kohti uusiutuvia energianlähteitä, pienenee tällainen nopea säätöreservi. Kysyntäjousto on yksi apuväline, jolla verkon tehotaapainoa voidaan ylläpitää. Pienasiakkaiden kuormia yhdistelemällä ja ohjaamalla, voidaan sähkönkulutusta siirtää ja näin tasata kysynnän vaihtelua

Tässä tutkimuksessa selvitetään kysyntäjoustopalveluiden vaikutuksia pientalojen lämmityskustannuksiin. Työssä syvennyttään kysyntäjousto on ilmiönä ja pohditaan sen merkitystä eri toimijoiden näkökulmista. Lisäksi tutkitaan pientalojen kuormanohjausta sekä tekniikan että palveluntarjoajien osalta. Tavoitteena on saada selkeä näkemys kysynnäjouston mahdollisista taloudellisista hyödyistä pientaloissa. Kysynnäjouston taloudellista potentiaalia laskettaessa esimerkkinä käytetään sähkölämmityksellä varustettua pientaloa.

Työn alku käsittelee kysyntäjoustoia laajempaa ilmiönä ja esittelee kuluttajan, sähkönmyyjän ja sähköverkkoyhtiöiden näkökulmia aiheeseen. Seuraavaksi keskitytään pientalon kuormanohjaus mahdollisuuksiin. Lisäksi esitellään laskentamallista saadut tulokset, joiden avulla arvioidaan kysynnäjouston taloudellista kannattavuutta. Lopuksi tehdään tutkimuksesta yhteenveto ja pohditaan kysyntäjouston lisäämisen mahdollisuuksia tulevaisuudessa.

## 2. KYSYNTÄJOUSTON PERIAATTEET

### 2.1 Sähkömarkkinoiden muutos

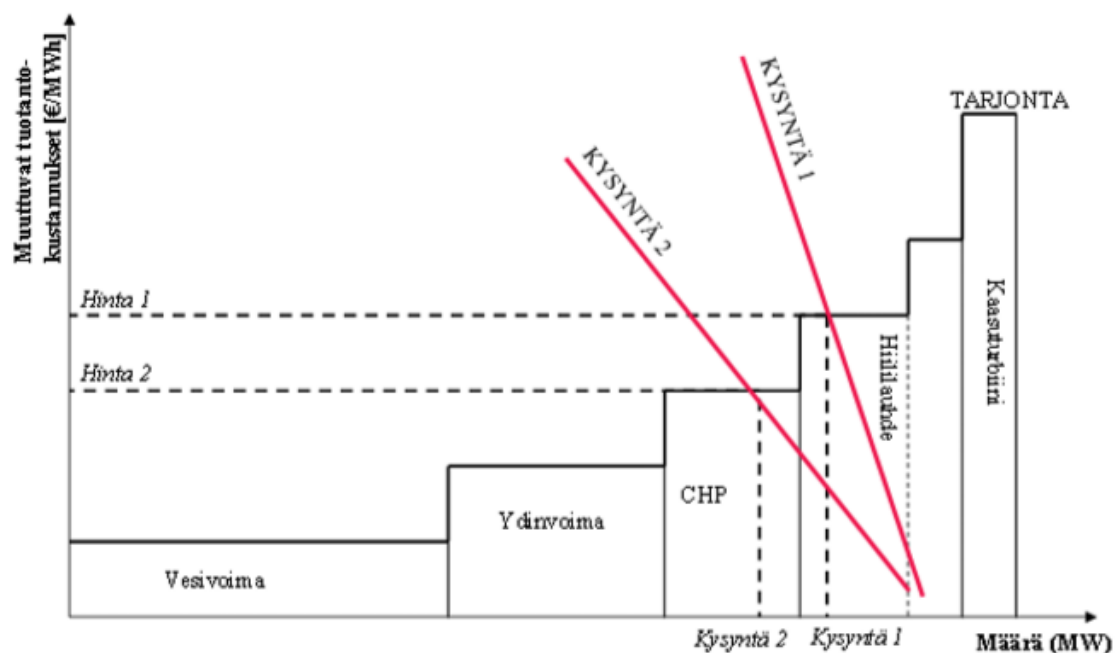
Sähköverkossa tuotannon ja kulutuksen on joka hetki oltava tasapainossa. Jos kulutus on tuotantoa suurempi, verkon taajuus laskee. Kun kulutus alittaa tuotannon, verkon taajuus nousee. (Fingrid 2017) Sähköverkon tasapainoa on tähän asti ylläpidetty säätämällä tuotanto vastaamaan kulutusta. Tämä on toteutettu käyttämällä tuotantolaitoksia, jotka polttavat fossiilisia energianlähteitä. Tällaisten voimalaitosten investointi- ja käyttökulut ovat pienet ja energianlähteitä on ollut lähes rajattomasti saatavilla. (Forsberg 2013) EU:n energia- ja ilmastopolitiikassa on kuitenkin linjattu, että vuoteen 2030 mennessä energiantuotannon kasvihuonepäästöjen on laskettava 40 % ja uusiutuvan energian osuuden on nouseva 27 %:iin loppukäytöstä (Eurooppa-neuvosto 2014). Nämä linjaukset ohjaavat energiantuotantoa kohti aurinko- ja tuulivoimaa sekä ydinenergiaa. Tulevaisuudessa verkon säätökapasiteetti voidaan tuottaa erilaisilla biovoimaloilla tai geotermisillä voimaloilla, mutta tässä tutkimuksessa ei ole näihin tuotantomuotoihin perehdytty syvällisemmin. Vesivoima on myös erinomainen voimanlähde, mutta uusien voimaloiden laajamittainen rakentaminen ei ole todennäköistä. Vesivoimaan soveltuvia vesialueita ei ole rajoittamattomasti, ja vesivoimala aiheuttaa suuria muutoksia ympäristössään (Energiategollisuus ry 2005).

Ydin-, tuuli- ja aurinkovoimaa on aina ajettava täydellä teholla, jotta vältetään energian hinnannousu (Forsberg 2013). Aurinko- ja tuulivoima ovat hyvin sääriippuvaisia voimanlähteitä, minkä vuoksi näiden tuottama energian määrä vaihtelee. Tästä syystä verkkoon tulee saada lisää kuormaa, joka seuraa tuotantoa ja muuttaa kulutustaan verkon tehotasapainon ylläpitämiseksi. Lisäksi verkkoon tulee liittää entistä enemmän erilaisia energiarakennuksia, joita voidaan ladata matalan kysynnän aikana ja tyhjentää kulutushuipussa. Näin kysyntäjousto lisää verkon toiminnan luotettavuutta ja kannustaa uusiin uusiutuvan energian investointeihin. Joustavaa ja ohjattavissa olevaa kuormaa voidaan myös käyttää voimajärjestelmän häiriöreservinä. Kysynnän joustolla tulee tulevaisuudessa olemaan merkittävä rooli älykkäiden sähköverkkojen luomisessa ja lähes nollaenergiarakennusten eli nZEB-rakennusten suunnittelussa, toteutuksessa ja ylläpidossa. (Järventausta et al. 2015, s. 3-5, 217-218)

#### 2.1.1 Sähköenergian hinta

Suomen kantaverkkoyhtiö Fingrid on osa pohjoismaista Nord Pool -sähköpörssiä, josta suomalaiset sähkönmyyjät ostavat myymänsä sähkön. Pörssissä käydään kauppaa sekä fyysisillä markkinoilla, jolloin sähköä toimitetaan, että johdannaismarkkinoilla, joissa vaurdutaan sähkön hinnan muutoksiin.

Elspot-sähköä, niin sanottua day-ahead -sähköä, myydään aina seuraavalle päivälle. Sähkөрssissä energian hinta muodostuu tunneittain kysynnän ja tarjonnan kohdatessa, kuten kuvassa 1 on esitetty. Sähkön hinta vastaa tällöin kalleimman käytössä olevan tuotantomuodon kustannuksia, ja hinta on kaikille sama. (Järventausta et al. 2015, s. 16-17 ,33-34) Hinta muodostuu edellisen päivän aikana noin kello 15.00 mennessä. Elspot-markkinoilla onkin hyvin aikaa reagoida hinnan kehitykseen. Useimmat pienasiakkaiden kysyntäjoustopalvelut käyttävät Elspot-sähköä. Tähän vaikuttaa hinnan ennustettavuus, joka helpottaa joustojen suunnittelua ja ajoittamista. Lisäksi muut markkinapaikat vaativat yleensä suurempia ohjauskuormia kuin omakotitalosta normaalisti löytyy. Perinteinen kuormanohjaustekniikka on myös melko hidas ohjauskeino, ja muilla kuin Elspot-markkinoilla vaaditaan yleensä nopeampaa reagoitokykyä.

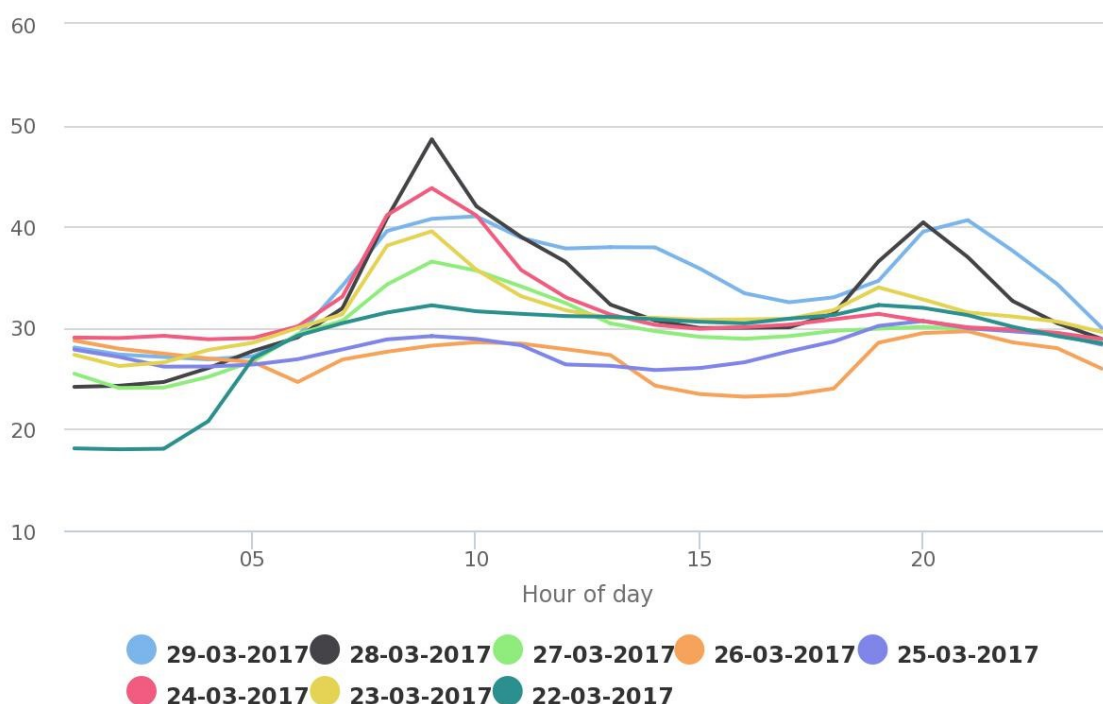


**Kuva 1.** Sähkön hinnan määräytyminen kysynnän ja tarjonnan mukaan Elspot-markkinoilla. (Järventausta et al. 2015)

Elbas-markkina, eli intraday-markkina, tarkoittaa päivän sisäisiä osto- ja myyntitarjouksia, jotka pyritään tekemään mahdollisimman lähellä käyttötuntia ja mahdollisimman realistisina. Kaupankäynti tietylle tunnille päättyy tuntia ennen toimitusta. Tällöin kysyntä ja tarjonta kohtaavat huomattavasti paremmin verrattuna edellisenä päivänä tehtyihin Elspot-kauppoihin. Elbas-markkinoilla käydään kauppaa vähintään yhden MW:n toimituksilla, kun Elspot-markkinoilla pienin toimitus on 0,1 MW. (Härkönen 2015)

Sähkömarkkinoilla hinta kasvaa kysynnän lisääntyessä. Kysyntäjousto mahdollistaa kulutuksen ajoittamisen niille tunneille, kun sähkönkulutus on vähäistä ja hinta on alhainen. Samoin voidaan erityisesti välttää huipputunteja ja siten osaltaan pienentää verkon huippukuormia. Kysyntäjousto vaikuttaa koko verkon kysyntään ja joustavan kapasiteetin lisääminen todennäköisesti laskee sähkön hintaa kaikilla kuluttajilla eikä ainoastaan niillä,

jotka itse joustavat. (Järventausta et al. 2015, s. 16-17) Tällöin kysyntäjousto pienentää itse omaa taloudellista kannattavuuttaan. Kuitenkin kysyntäjousto saattaa osaltaan myös suurentaa kulutushuippuja, jos huippukuorma osuu samaan hetkeen halvan energian kanssa (Järventausta et al. 2015, s. 34-36). Kuvasta 2 nähdään sähkön hinnanvaihtelua tunneittain maaliskuussa 2017 (NordPool 2017). Tavallisesti sähkön hinnassa nähdään huiput aamulla ja illalla, jolloin sähköä kulutetaan paljon. Noin kello kahdeksan aikaan kuluttajien aamutoimet näkyvät huippuna. Illalla kahdeksan aikaan kuluttajat ovat kotona ja päällä on runsaasti viihde- sekä talouskuormaa, mikä näkyy seuraavana piikkinä. Viikonloppuisin kulutukseen taas ei muodostu yhtä selkeitä huippuja. Tämä näkyy käyrillä 25-03-2017 ja 26-03-2017. Tämä selittyy kuluttajien erilaisena käyttäytymisenä viikonloppuisin ja arkena.



**Kuva 2.** Elspot-hintojen vaihtelu 29.03.2017-22.30.2017, hinnat yksikössä €/MWh. (NordPool 2017)

Sähkön lopulliseen hintaan vaikuttaa energian hinnan lisäksi myös siirtomaksut, eli tariffit, sekä verot. Näiden osuus sähkölaskussa on likimain sama, eli jokainen osa vastaa noin yhtä kolmasosaa laskun koko summasta. (Energiateollisuus 2016) Kysyntäjoustolla voidaan vaikuttaa sähkön hintaan ja tulevaisuudessa ehkä myös siirtotariffin suuruuteen. Kysyntäjoustolla voi oikein käytettynä olla suuri vaikutus sähkölaskuun, jos kulutus saadaan ohjattua halvoille tunneille ja pidettyä huipputehot alhaalla. Täten joustamalla sähkönkulutuksessa on mahdollista saada taloudellisia säästöjä.

### 2.1.2 Mismatch-ilmiö

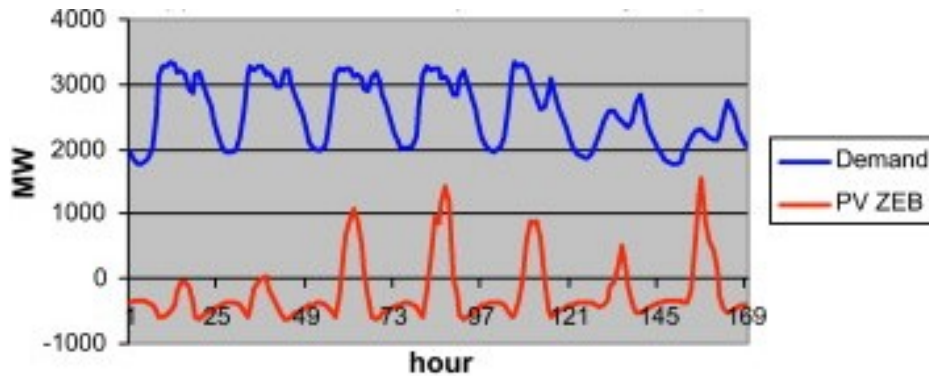
Sähkönkulutus ei ole tasaista. Kysyntä vaihtelee huomattavasti tunneittain, päivittäin ja kausittain. Suuri ongelma siirryttäessä kohti hiilineutraalia energiantuotantoa on, miten tähän pystytään vastaamaan. (Forsberg 2013) Kun ydinvoimala tuottaa energiaa tasaisella teholla, vaihtelee aurinko- ja tuulivoimaloiden tuottama energian määrä paljon. Ongelmaksi muodostuukin tuotannon ja kysynnän risteäminen eli Mismatch-ilmiö. Mismatch-ilmiö koskee koko sähköverkkoa. Kun sähkönkulutus on kesäkaudella pientä, on aurinkovoiman tuotanto suurimmillaan. Tällöin energiaa tuotetaan myös pienvoimaloissa, erityisesti rakennusten omissa aurinkopaneeleissa, jolloin tuotannon määrä lisääntyy entisestään. Lämmityskaudella aurinkovoiman tuottama energian määrä on huomattavasti pienempi, kun energiantarve on rakennusten lämmityksen takia korkeimmillaan. (Lund et al. 2011) Tästä syystä verkkoon tarvitaan lisää jousto- ja varastointikapasiteettia, kun energiantuotantoa pyritään siirtämään enemmän aurinko- ja tuulivoiman varaan.

Koska tuotanto ja kulutus risteävät vuodenaikojen välillä huomattavasti, pitäisi käytettävissä olla joko riittävästi varavoimanlähteitä, energian pitkän ajan varastointikapasiteettia lisätä tai saada verkkoon enemmän joustavaa kuormaa. Tähän asti varavoimana on käytetty fossiilisia energianlähteitä, joiden käyttöä rajoitetaan ja ollaan tulevaisuudessa vähentämässä entisestään. Tästä syystä energian varastointia ja kysyntäjoustoa tulisi kehittää ja lisätä, jotta esimerkiksi aurinkoenergia saataisiin käytettyä täysimääräisesti hyväksi. (Forsberg 2013) Aurinkopaneelien kannattavuus on parhaimmillaan, kun kaikki niiden tuottama energia voidaan käyttää tuotantopaikalla esimerkiksi pientalossa. Kun sähköä joudutaan myymään halvalla verkkoon, investoinnin kannattavuus laskee nopeasti. Aurinkopaneeliin tulisikin liittää riittävän suuri akusto, jotta verkkoon siirrettävä energian määrä olisi mahdollisimman pieni ja investoinnista saadaan kannattava. (Grip 2013) Lisäksi kysyntäjoustolla voidaan vaikuttaa kysyntään erityisesti lyhyellä aikavälillä, kun kulutus on ylittämässä tuotannon. Jousto täytyy kuitenkin toteuttaa niin, ettei se haittaa asumismukavuutta. Esimerkiksi lämmityskuormia ei voida tästä syystä siirtää pitkiä aikoja, varsinkaan pakkaskaudella.

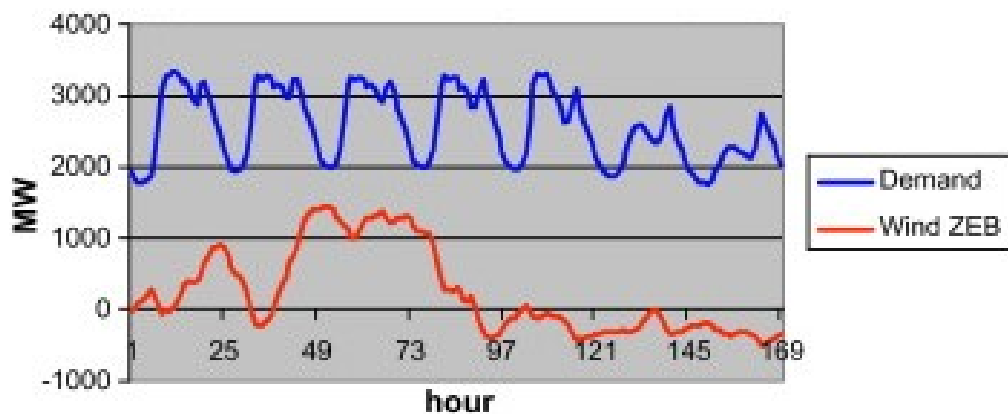
Mikäli sähkönkulutus jatkuu samanlaisena tulevaisuudessa, tarvitaan merkittävä määrä uutta säätöreserviä. Tehoreservin ylläpidon ongelma on sen vähäinen käyttö. Reservejä käytetään yleensä muutaman kerran vuodessa, kovilla pakkasilla. Sellainen investointi ei ole energiayhtiöille kannattava, varsinkaan kun sähkönhintaa on alhainen (Kankare 2017). Valtio maksaa energiayhtiöille valittujen reservilaitosten ylläpitämisestä. Energiavirastolla on tällä hetkellä tehoreserviä yli 700 MW, ja tähän kuluu veronmaksajien rahaa noin 14 miljoonaa euroa vuodessa. Tilannetta pahentaa kulutuksen muutos, jossa kokonaiskysyntä pysyy samana tai jopa laskee, mutta huippukuormat kasvavat. (Kankare 2017) Kysyntäpiikkejä voidaan pienentää erityisesti kulutusta muuttamalla, ja siihen kysyntäjousto antaa hyvät mahdollisuudet.



Mismatch-ilmiö voi olla sähköverkon näkökulmasta sekä positiivinen että negatiivinen. Mismatch on positiivinen, kun tuotanto seuraa koko verkon sähkönkysyntää, ja negatiivinen, kun se risteää kysynnän kanssa. (Forsberg 2013) Kuvissa 3 ja 4 on havainnollistettu Mismatch-ilmiön positiivista ja negatiivista luonnetta.



**Kuva 3.** Sähkön kysyntä Tanskassa 2001 ja noin miljoonan nZEB-talon aurinkopaneelien energiantuotanto (Lund et al. 2011).



**Kuva 4.** Sähkön kysyntä Tanskassa 2001 ja noin miljoonan nZEB-talon tuulivoimaloiden energiantuotanto (Lund et al. 2011).

Kuvassa 3 aurinkovoiman luoma Mismatch on positiivinen, koska se mukailee sähkönkokonaiskysyntää. Tuotanto on suurimmillaan päiväaikaan tuotannon vaihdellessa päivien välillä selvästi. Tuotanto tapahtuu kuitenkin samaan aikaan kulutuksen kanssa, joten aurinkovoima vähentää muun energiantuotannon tarvetta ja laskee sähkön hintaa. Kuvassa 4 tuulivoima tuottaa energiaa myös yöaikaan, kun kulutus on pientä. Tästä syystä tuulivoiman luoma Mismatch on sekä positiivinen että negatiivinen, riippuen tuotannon ajankohdasta. Negatiivinen Mismatch saattaa kasvattaa kapasiteetin tarvetta ja lisätä kallista energiantuotantoa kasvattamalla kulutushuippuja. (Lund et al. 2011)

Mismatch-ilmiö havaitaan myös yksittäisen talon kohdalla. Euroopan Unionissa pyritään vähentämään rakennusten käyttämää energiaa, ja seuraavana tavoitteena ovat lähes nol-

laenergiatalot, eli nZEB-talot. Näissä ostoenergian kokonaiskulutus lähestyy nollaa. Rakennuksen energian kokonaiskulutusta laskettaessa vähennetään ulkoa ostetun energian määrästä verkkoon siirretty energian määrä ja tuloksena tulee olla lähes nolla. Lähes nollaenergiatalot saavat tarvitsemansa energian suurelta osin lähituotantona, esimerkiksi tuuli- ja aurinkoenergiasta. (Nyman 2013) Kuitenkin näistä saatava teho vaihtelee, niin päivän sisällä, päivien välillä kuin vuodenaikojen välillä. Käytännössä tämä tarkoittaa, että tuotanto ylittää kesäkaudella kulutuksen, ja ylimääräinen energia siirretään sähköverkkoon tai akkuihin. Talviaikaan ja lämmityskaudella energiaa on ostettava sähköverkosta, koska aurinko- ja tuulivoimalla ei todennäköisesti saada kaikkea tarvittavaa energiaa tuotettua. (Lund et al. 2011)

Kysyntäjoustolla voidaan vähentää Mismatch-ilmiön vaikutusta. Mitä enemmän verkkoon saadaan kapasiteettia, jonka kulutukseen voidaan vaikuttaa, sitä vähemmän ilmiöllä on verkon toiminnan kannalta merkitystä. Jos kaikki uusiutuvista energianlähteistä saatava sähköenergia saadaan käytettyä, pienenee niin sähköntuotannon hinta kuin päästötkin.

## 2.2 Kysyntäjousto

Sähkön kysyntäjoustolla tarkoitetaan mahdollisuuksia vaikuttaa kulutukseen esimerkiksi sähkön hinnan tai muiden signaalien perusteella. Kysyntäjoustoa on myös kysynnän aktiiviset toimet markkinoilla käyttäen hajautettuja resursseja. Hajautettuihin resursseihin luetaan ohjattavat sähkökuormat, energiavarastot ja hajautettu tuotanto. (Ruotsalainen 2007) Kysyntäjouston tavoitteena on pienentää verkon huippukuormia ja osaltaan parantaa sähköverkon turvallisuutta. Kysyntäjoustolla ei siis pyritä sähkönkulutuksen vähentämiseen vaan ainoastaan siirtämiseen.

### 2.2.1 Kuluttaja

Kuluttajan tavoitteena on pääsääntöisesti pienentää omaa sähkölaskuaan. Jossain määrin kuluttajia saattavat motivoida myös ympäristöarvot ja kysyntäjouston turvallisuus näkökulma. Kun kuluttaja muuttaa sähkön käyttöönsä hinnan perusteella, hän todennäköisesti vähentää kulutusta, kun sähkön hinta on korkeimmillaan. Silloin tuotanto on käytössä täydellä kapasiteetilla, mutta siirtämällä kulutusta kysyntäjouston avulla tarve varavoi- malle vähenee. Varavoima on yleensä fossiilisilla polttoaineilla tuotettua, jolloin sähkön- tuotannon päästöt kasvavat nopeasti. Kun sähkön huippukulutus kysyntäjouston avulla pienenee, paranee samalla verkon toimintavarmuus. Myös sähkön hinta laskee tai pysyy samana, kun varavoimaa ei jouduta käynnistämään.

Kysyntäjousto palveluiden suuri potentiaali on sähkölämmitteisissä pientaloissa, joissa erityisesti lämmityskuormat muodostavat suuren ja helposti ohjattavissa olevan kulutuksen. Rakennusten ja käyttöveden lämmitykset ovat melko hyvin ennustettavissa, joka parantaa niiden ominaisuuksia kysyntäjoustopotentialin käyttöönotossa. Tähän asti sähkölämmitteisissä taloissa on yleisesti käytetty yö-päivä -sähkö sopimuksia, jolloin esimerkiksi käyttövesivaraajat on asetettu käynnistymään yöllä. Tämä on aiheuttanut suuren kysyntäpiikin siirryttäessä yöaikaan. (Järventausta et al. 2015, s. 3-5, 33-36) Kysyntäjoustopotentiali perustuu sähkön hinnoitteluun markkinaperusteisesti, jolloin sähkön hinta vaihtelee tunneittain. Kun kuluttaja ohjaa kuormaa halvoille tunneille, pienenee samalla kuluttajan sähkölasku. Mitä paremmin kuormia saadaan ohjattua, sitä suurempia säästöjä voidaan saavuttaa. Lisäksi Spot-sopimuksissa sähkön hinta on yleisesti alhaisempi kuin kiinteissä sopimuksissa.

Tässä tutkimuksessa keskitytään erityisesti sähkölämmitteisten pientalojen säästöpotentialiin. Pientalon kuormanohjaus mahdollisuuksia ja kysyntäjoustopalveluiden vaikutuksia käsitellään laajemmin luvuissa 3 ja 4.

## 2.2.2 Sähkönmyyjä

Sähkönmyyjä voi hyödyntää kysyntäjoustopotentialia eri tavoin. Sähkönmyyjä voi käyttää joustopotentialiaan omassa tasehallinnassaan ja varmistaa siten tulevien suojausten riittävyyttä (Järventausta et al. 2015, s. 43-46). Näin sähkönmyyjä voi lisätä myyntiään ja parantaa tulostaan kysyntäjoustopotentialin avulla.

Sähkönmyyjän kysyntäjoustopalveluiden tuottopotentiali riippuu merkittävästi siitä, millä sähkömarkkina paikalla kauppa käydään. Tutkimuksessa vertailtiin eri markkina-alueiden tuotto-odotuksia joukolla pientaloja, joiden kysyntää ohjattiin. Kun kauppa käydään Elspot-markkinoilla, tuottopotentiali on muutamia euroja per asiakas. Paras tuottopotentiali saatiin taajuusohjatun häiriöreservin tuntimarkkinoilla, jossa päästiin yli neljäänkymmeneen euroon per asiakas. Markkinapaikoista Elspotin tuottopotentiali on kuitenkin luotettavin, koska hinnat julkaistaan jo edellisenä päivänä. Näin kuormanohjauksille jää hyvin aikaa. Huomattavaa on myös, että laskennassa joustopotentialia on rajoitettu käyttäjän mukavuustason perusteella melko paljon. Yksi kuormanohjaus saa kestää maksimissaan tunnin, ja sen jälkeen kuormanohjaus estetään joksikin aikaa. Näitä kuormanohjauksia saa olla enintään viisi vuorokaudessa. Näillä rajoituksilla estetään asumismukavuuden heikkeneminen ja terveelliset sekä turvalliset sisäilmaolosuhteet. (Järventausta et al. 2015, s. 43-76) Näin tiukkojen rajojen käyttö ei ole käytännössä järkevää, vaan jokaista kuormaa tulee ohjata älykkäästi ilman täsmällisiä kieltoja tai kestoja. Älykkäällä ohjauksella tulee varmistua asumismukavuuden ja sisäilmaolosuhteiden ylläpidosta. Toisaalta älykkäällä ohjauksella voidaan maksimoida kuormanohjaukset ja siten kysyntäjoustopotentialin taloudelliset hyödyt. Tällöin joustoilla voidaan asumismukavuuden kär-

simättä säästää sähkön hinnassa ja pienentää kysyntähuippuja. Silloin myös Elspot-markkinoilta voidaan saada huomattavasti parempia tuottopotentiaaleja sekä sähkömyyjälle että kuluttajalle.

Sähkömyyjä voi hyödyntää taseessaan olevaa joustokapasiteettia sekä pitkän aikavälin suojauksiin että lyhyellä aikavälillä tuloksen maksimoimiseen. Kun sähkömyyjällä on käytettävissä huomattavaa joustokapasiteettia, voidaan se nähdä itsessään suojauksena hinnan vaihteluita vastaan ja silloin voidaan vähentää muita suojauksia. Jos sähkön hinta tulevaisuudessa nousee, voi sähkömyyjä kattaa osan kysynnästä joustokapasiteettiaan hyödyntämällä ja siten välttää ostamasta kallista sähköä markkinoilta. Lisäksi sähkömyyjä voi lisätä tulostaan käyttämällä kysyntäjoustoresssejaan aktiivisesti eri markkinapaikoilla ja omassa tasehallinnassaan. (Järventausta et al. 2015, s. 43-46) Sähkömyyjä voi myös tarjota joustokapasiteettiaan markkinoille tuotannon kanssa tasavertaisena. Tällöin käytetään termiä Demand-side-bidding, jossa luodaan niin sanottu virtuaalivoimalaitos. Virtuaalivoimalaitoksen toiminta perustuu sen oman kysynnän pienentämiseen, mikä vastaa käytännössä tuotannon lisäämistä. (Ruotsalainen 2007) Virtuaalivoimala luodaan yhdistelemällä useita kuormia yhdeksi yksiköksi. Esimerkiksi yhdistämällä satojen pientalojen käyttövesivaraajien kuormat, saadaan luotua virtuaalivoimala. (Fortum 2017b) Tällaisessa yksikössä on aina kuormien risteilyä, jolloin siellä on aina kuormaa, jota voidaan kytkeä pois päältä asumismukavuuden heikkenemättä.

Tilanne, jossa sähkömyyjä säätelee omaan taseeseensa kuuluvia kuormia, on monin tavoin parempi verrattuna tilanteeseen, jossa ulkopuolinen operaattori alkaa vaikuttaa kysyntään. Se on huomattavasti parempi yhdistelmä vastuiden ja velvollisuuksien suhteen. Myyjän itse hallitessa taseeseensa kuuluvia kysyntäjoustoressseja on myyjä aina tasevastuullinen. Kun väliin tulee ulkopuolinen operaattori tai aggregaattori, joka hallitsee yhden tai useamman myyjän taseeseen kuuluvia kuormia, ei tasevastuullista voi yksikäsitteisesti nimetä. Tämän vuoksi kysyntäjoustoren lisääntyessä tulee luoda käytäntöjä ja toimintatapoja, joilla tasevastuullinen määritetään riippumatta kuormien ohjaajasta. (Järventausta et al. 2015, s. 43-46, 281)

### 2.2.3 Verkkoyhtiö

Kun kysyntää ei ohjata, risteävät kulutukset jatkuvasti. Kaikki kotitaloudet eivät koskaan käytä huipputehoja samaan aikaan, jolloin verkon huippukuormat eivät kasva arvaamattomasti. Kun kysyntää aletaan enemmän ohjata markkinaperusteisesti, vähenee kysynnän risteily, ja verkon kuormitus saattaa kasvaa hallitsemattomasti. Erittäin huolestuttavaa on, jos halpa sähkö osuu samaan aikaan kysyntähuipun kanssa. Tällöin kysyntäjoustoren suurentaa kulutusta ja mahdollisesti aiheuttaa verkon huippukuorman kasvua. Tämä on huomattu esimerkiksi yö-päivä -sähkön kanssa, kun sähkölämmitteiset käyttövesivaraajat ovat kytkeytyneet päälle välittömästi yö-sähköön siirryttäessä. Kysyntäjoustoren siis pyrkii parantamaan sähköntuotannon luotettavuutta, mutta pahimmassa tapauksessa saattaa aiheuttaa verkon kapasiteetin ylittymisen, mikä lisää verkon häiriöiden todennäköisyyttä.

Kysyntäjousto ei tästä syystä ole sähköverkkoyhtiöille yksinään positiivinen. (Järventausta et al. 2015, s. 34-36) Fingrid on ehdottanut yösähköohjauksesta luopumista, jotta sähköverkko voisi reagoida nopeammin vaihtelevan tuotannon mukaan. Kantaverkkoyhtiön mielestä tiukka aikaohjaus on liian jäykkä, kun tuotannon painopiste siirtyy tuuli- ja aurinkovoiman varaan. Fingrid sallisi verkkoyhtiöiden tarjota eri tariffeja eri aikoina, mutta kuormienohjaus tulisi saada reaaliaikaisemmaksi. (Koistinen 2017)

Kysyntäjousto laajassa mittakaavassa vaatiikin verkkoyhtiöille maksettavien korvausten muuttamisen tehopohjaiseksi tai ainakin tällaisen tehotariffin tuomisen normaalin siirtomaksun rinnalle. Tehotariffi voidaan toteuttaa eri malleilla, mutta kaikissa lähtökohtana on rajoittaa asiakkaan käyttämää huipputehoa ja siten varmistaa verkon toiminta. Tehotariffin suuruus voi perustua joko asiakkaan luona mitattuun tehoon tai sähköliittymälle ilmoitettuun huipputehoon. Tutkimuksessa on todettu, että parhaaseen lopputulokseen päästään, kun kysyntää ohjataan sekä hinta- että tehooperusteisesti. Jos kuormanohjaus tapahtuu yksinomaan markkinasignaaleihin perustuen, kasvaa verkon kuormitus kaikissa vaihtoehtoisissa riippumatta kuormanohjauksen kestosta tai simulaation aikajänteestä. Tällöin verkkoyhtiöiden olisi parannettava verkkojaan, mikä näkyisi suoraan kuluttajien kasvaneina siirtomaksuina. Kun mukaan otetaan tehotariffi, tasaa se hinnanvaihteluiden aiheuttamia kysyntäpiikkejä ja estää kysynnän hallitsemattoman kasvun. (Järventausta et al. 2015, s. 34-36, 167-206)

Kantaverkkoyhtiölle lisääntyvä kysyntäjousto tarjoaa pääasiassa mahdollisuuksia kasvattaa teho- ja käyttöreservejä, mikä osaltaan parantaa verkon luotettavuutta. Kantaverkkoyhtiöltä löytyy tälläkin hetkellä monia markkinapaikkoja, joihin erityisesti teollisuus on voinut tarjota omia joustavia kuormiaan. Nämä markkinapaikat vaativat yleensä melko nopeaa säädettävyyttä ja suuria kuormia, minkä vuoksi ne ovat tähän asti rajoittuneet pääasiassa suuriin toimijoihin. Kun pientalojen kuormia, esimerkiksi lämmityskuormia, yhdistellään yhdeksi isommaksi yksiköksi, ja niiden ohjaus toteutetaan reaaliaikaisesti, voidaan muodostaa virtuaalivoimala. Näitä virtuaalivoimaloita voidaan tarjota reservimarkkinoille teollisuuden kanssa tasavertaisina ja näin pyrkiä lisäämään kysyntäjoustopotentialia. (Järventausta et al. 2015, s. 23-25)

### 3. KYSYNTÄJOUSTO PIENTALOISSA

#### 3.1 Kuormanohjausmahdollisuudet pientaloissa

Kysyntäjoustopotentiali pientaloissa on lämmityksen ohjauksessa, johtuen suuresta energian tarpeesta ja riittävän hyvästä ennustettavuudesta. Jos energiaa pystytään varastoimaan lämmityksen yhteydessä esimerkiksi käyttövesivaraajaan tai betonilaattaan, voidaan taloa lämmittää erityisesti yöaikaan. Tällöin sähkön kulutus on verkossa yleensä pientä ja hinta alhainen. Toisaalta suuri varauskapasiteetti on hidas reagoimaan muutoksiin, jos esimerkiksi iltapäivän sääennuste muuttuu. Tällöin betonilaattaan voi varautua yöllä liikaa lämpöä, mikä vapautuessaan pitää talon epämiellyttävän kuumana koko päivän. Paksun betonilaatan vaarana onkin lämmitysenergian hukkakäyttö. Tässä tapauksessa sähköenergiaa on kulutettu turhan paljon todelliseen tarpeeseen nähden, mutta jälkikäteen sitä ei voida enää palauttaa. Reaaliaikaisen kysyntäjoustopotentialin kannalta suora sähkölämmitys on hyvä nopean reagoinnin vuoksi. Suora lämmitys sen sijaan ei mahdollista pitkiä kuormanohjausjaksoja, varsinkaan talviaikaan. Silloin lämmityskuormia voidaan joutua kytkemään päälle, vaikka sähkö olisikin kallista. Hinta on korkealla, koska verkossa on paljon kysyntää. Suoralla lämmityksellä korostuukin kuormanohjauksien ajoitus huomattavasti enemmän kuin osittain tai kokonaan varaavissa lämmityksissä. Kysyntäjoustopotentialin kannalta tärkein piirre lämmityksessä on kuitenkin sähkön käytön mahdollisuus rakennuksen tai käyttöveden lämmityksessä.

Suomessa omakotitalojen yleisimmät lämmitystavat ovat suora ja varaava sähkö- sekä öljylämmitys. Suomessa on noin miljoona omakotitaloa, ja niistä sähköllä lämmitetään noin 43 %. Tämän lisäksi on noin 90 000 loma-asuntoa, joita lämmitetään sähköllä. Täten verkossa on noin 573 000 sähkölämmitteistä kiinteistöä, joista voitaisiin uusilla tekniikoilla saada jopa 1800 MW ohjattavaa kuormaa. Jos ohjaukseen otetaan mukaan myös öljykattilat ja niiden lisälämmitysvastukset, voisi kuorma kasvaa jopa 2900 MW:n. (Palola 2016)

Kuormia voidaan ohjata käyttämällä olemassa olevaa infrastruktuuria, jolloin ohjaussignaalit välitetään kuormille etäluettavien sähkömittarien, AMR-mittarien, avulla. Suomessa lähes kaikki sähkömittarit ovat nykyään etäluettavia, mutta suurimpaan osaan ei ole kytketty ohjattavia kuormia. AMR-mittari mahdollistaa nykyisellään ainoastaan kuorman poiskytkennän, eikä siis mahdollista tiedonvälitystä palveluntarjoajan ja kuorman välillä. Olemassa olevat AMR-mittarit ovat hidas tapa ohjata kuormia, joten niiden käyttö mahdollistaa vain Elspot-markkinoilla tapahtuvan joustopotentialin. (Järventausta et al. 2015, s. 19-23, 32-33) AMR-mittarin lisäksi markkinoilla on monia erilaisia kuormanohjaustapoja ja tekniikoita. Yleisesti ottaen nämä palvelut ohjaavat kuormaa internetin välityksellä käyttäen pilvipalveluja, joissa voidaan vaikuttaa sekä kysyntään että joustopotentialiin. Pal-

veluiden säästöpotentiaali perustuu sekä halvan sähkön käyttöön että sähkönkäytön tarkempaan ohjaukseen. Kun sähkölämmitystä hallitaan ja valvotaan digitaalisesti, vältetään sekä yli- että alilämmitys, ja tilojen lämpötilaa voidaan seurata tarkasti. Tämä voi tuoda huomattavia säästöjä, koska yhden lämpöasteen lasku vähentää energian tarvetta noin viisi prosenttia. Lisäksi tilojen lämpötilan väliaikainen lasku joko työpäivän tai loman ajaksi, ja hallittu nosto määräaikaan mennessä saattaa tuoda säästöjä. Tilan lämpötilan etäsäätö on erityisen hyödyllinen, kun rakennus on pidempää aikoja tyhjillään, ja se voi olla kaukana omistajasta. Kun rakennuksen sisäilmaolosuhteita voidaan valvoa etänä, vähennetään kosteus- ja vesivahinkojen syntymisen todennäköisyyttä rakennuksen ollessa asumattomana pitkään.

Toinen merkittävä ohjauspotentiaali on sähkövastuksissa, kuten sähkösaunoissa tai lämpöpumppujen ja öljykattiloiden lisälämmitysvastuksissa. Sähkösaunojen luomia kysyntäpiikkejä on pyritty pienentämään käyttämällä vuorottelukytkeitä, joka kytkee sähkölämmityksen pois saunan lämmitessä. Öljylämmityksen hintaa ja päästöjä voidaan pienentää käyttämällä lämmityskattilan sähkövastuksia. (Järventausta et al. 2015, s. 80-87, 128-133) Sähkövastuksia tulee ohjata kysyntäjoustopinnoin, jotta lisääntyvä kulutus ei vaaranna verkon toimintaa. Pientuotannon lisäyksellä, kuten lämpöpumpuilla tai puun pienpoltto -ratkaisuilla, voidaan vähentää ostoenergian tarvetta, ja siten pienentää sähkön kysyntää ja huippukulutusta (Motiva 2016b). Lämpöpumppu pienentää kiinteistön kokonaisenergian kysyntää, mutta saattaa lisätä sähkönkulutusta. Esimerkiksi öljylämmityksestä siirryttäessä lämpöpumppu lämmitykseen, kasvaa kiinteistön sähköenergian tarve. Sähköverkkojen kannalta lämpöpumppujen suuret käynnistysvirrat sekä lisälämmittimet asettavat haasteen verkon jännetasoille. Lämpöpumppujen lisääntyessä onkin tärkeää varmistua asiakkaiden liittymäpisteiden riittävistä jännitetasoista. (Järventausta et al. 2015, s. 121-122, 127-129)

Tulevaisuudessa kysyntäjoustopia voidaan pientaloissa lisätä huomattavasti kasvattamalla sähkön pientuotantoa sekä varastointikapasiteettia. Kun pientalon omistaja investoi auringopaneeleihin, voidaan niillä yksinään kattaa kesäkuun sähkönkäytöstä noin 40 % (Grip 2013). Todellinen prosenttiosuus riippuu paneeleista, niiden määrästä ja asennuksesta sekä auringon paisteesta. Kun järjestelmään kytketään lisäksi sopivasti akkukapasiteettia, voidaan kaikki kiinteistön kesällä tarvitsema sähkö tuottaa paikan päällä, koska mismatch-ilmiön vaikutus voidaan minimoida. Tällöin lähes kaikki sähkö voidaan käyttää tuotantopaikalla ja vain hyvin vähän joudutaan myymään verkkoon (Vanhanen 2016, s. 45-56). Sähköautojen lisääntyessä verkkoon tulee huomattavasti lisää varastointikapasiteettia. Sähköautojen lataus voi osaltaan joko lisätä verkon huippukuormia tai tasata verkon kuormitusta, riippuen latauksen toteutuksesta. Jos sähköauton lataus alkaa välittömästi auton liittyessä verkkoon, kasvavat verkon huippukuormat. Akkujen lataus kasvattaisi kysyntää erityisesti kuluttajien työmatkojen jälkeen, saavuttaessa töihin ja kotiin. Nämä matkat tapahtuvat melko lyhyessä aikaikkunassa, joten työmatkat todennäköisesti

näkyisivät kysyntäpiikkeinä. Tällöin sähkö tulee olemaan kallista ja riski verkon ongelmille kasvaa. Jos lataus tuotetaan älykkäästi kysyntäjoustopalvelun keinoin, ei autojen lataus kasvata huippukuormia vaan saattaa jopa laskea niitä (Järventausta et al. 2015, s. 34-36). Lataus on toteutettava niin, että akku voi ottaa virtaa verkosta halvan sähkön aikaan ja purkaa lataustaan kysynnän kasvaessa. Tällöin sähköautojen akkuja voidaan käyttää verkon kuormitusten tasaamiseen. (Grip 2013)

Energian tarpeeseen voidaan merkittävästi vaikuttaa kuluttajien asumistottumuksia muuttamalla. Tämä onnistuu parhaiten tarjoamalla kuluttajille oikeaa ja tarkkaa tietoa energiansäästämisestä sekä kysyntäjoustopalvelusta. Tutkimuksessa on saatu 20-30 prosentin tehostuminen sähköenergian kokonaiskulutuksessa vain asiakkaiden omilla toimilla (Motiva 2016b). Tämän kaltaisiin säästöprosentteihin pääseminen vaatii todennäköisesti kuluttajalta sekä kiinnostusta että viitseliäisyyttä. Tämän kaltaista perehtymistä ei kaikilta kuluttajilta voida kuitenkaan edellyttää. Lähes kaikki kysyntäjoustopalveluiden toimet voi kuluttaja tehdä itse ilman automaatiota, kuitenkin jatkuva tietojen seuraaminen ja lämmityksen säätö on monille liian työlästä.

### 3.2 Kysyntäjoustopalvelut

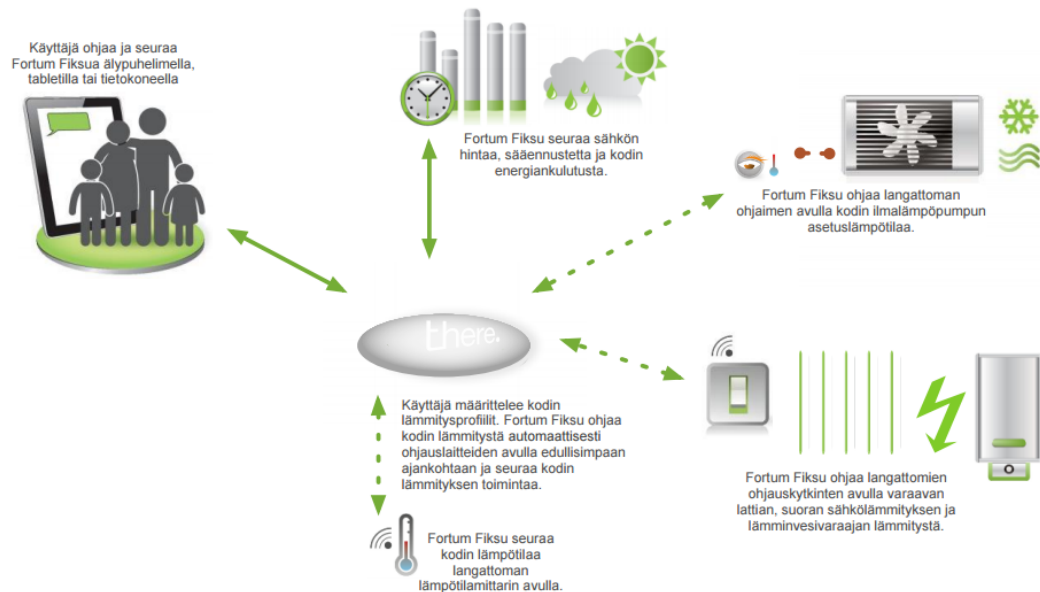
Tutkimuksessa perehdyttiin kolmeen erilaiseen kysyntäjoustopalveluun. Ensimmäisenä syvennytään kokonaispalveluun, jossa kysyntäjoustopalvelu on sidottu Elspot-sähköspotimukseen. Toisena esitellään pelkkä palvelu, joka kuitenkin kattaa kiinteistön kaikki lämmityskuormat. Viimeisenä palveluna on käyttövesivaraajan ohjaus, jossa ohjataan vain käyttöveden lämmitystä.

Fortum Fiksu on Fortum Markets Oy:n tarjoama palvelukokonaisuus. Fortum Fiksu palveluja on myynnissä eri lämmitysmuodoille, jotta palvelusta saadaan mahdollisimman hyvin tarpeita vastaava. Palvelut ovat kuitenkin pääosin samanlaisia. Fortum Fiksu on kytketty Fortum Tarkka -sopimukseen ja palvelun käyttö on Fiksun sopimusehdoissa kielletty, jos Tarkka-sopimus puretaan (Fortum 2015b). Fortum Tarkka on pörssisähkö-sopimus, jonka hinta mukailee Elspot-markkinoiden hintoja (Fortum 2017d).

Fortum Fiksu sähkölämmittäjälle maksaa alkuinvestointina noin 1080 €, ja palvelun kuukausimaksu on 9 €. Alkuinvestoinnista peruslaitteisto maksaa 530 € ja asennus 550 €. Järjestelmää voidaan laajentaa peruslaitteistoa kattavammaksi, esimerkiksi jos halutaan rakennuksen eri kerrokset omaan ohjaukseensa. Palvelu on helppo ottaa käyttöön, koska asennus ei vaadi remonttia. Asennukseen sisältyy rakennuksen ohjausyksikkö, tarvittavat lämmityslaitteiden ohjausreleet, sekä sisälämpötila anturi ja mahdolliset lisälaitteet.



Kaikki laitteet asennetaan pinta-asennuksena, joten mitään rakenteita ei jouduta avaamaan. Lisäksi laitteet toimivat verkkovirralla, joten ne kytketään pistorasiaan. (Fortum 2017c) Palvelun toimintaperiaate on esitetty kuvassa 5.



**Kuva 5.** Fortum Fiksu sähkölämmittäjälle, yleiskuvaus (Fortum 2016).

Palvelun ytimenä on ohjausyksikkö, joka säätelee tilojen lämpötiloja sen saamien tietojen ja määräysten mukaisesti. Ohjausyksikkö saa internetin välityksellä tiedot sähkön hinnasta ja sääennusteesta sekä seuraa kodin energiankulutusta. Ohjausyksikkö saa myös käyttäjien asetukset internetin välityksellä. Kodin sisällä ohjausyksikkö viestii langattomasti lämpömittarin, mahdollisen ilmalämpöpumpun ja ohjattavien kuormien kanssa. Saamiensa tietojen ja rajoitusten perusteella ohjausyksikkö optimoi kuormanojaukset, sekä säätelee lämmitystä asetusten mukaisesti. Tavoitteena on asumismukavuuden parantaminen ja sähkölaskun pieneminen. (Fortum 2016)

Fortum Fiksussa käyttäjän säätömahdollisuudet ovat laajat. Tiloille voidaan asettaa erilaisia lämmitysprofiileja eri viikonpäiville, jotta jokaisena päivänä lämmitys voidaan optimoida tarpeiden mukaiseksi. Lämmitysprofiileilla voidaan esimerkiksi lämpötilan antaa laskea sekä yö-aikaan että työpäivän ajaksi. Lämpötilan hallitulla laskemisella voidaan säästää energiaa sekä parantaa asumisoloja. Yleisesti ihminen nukkuu paremmin, jos lämpötila on yöllä hieman matalampi. Lisäsäästöjä saadaan sallimalla lämpötilan vaihtelu tietyn välin sisällä. Palvelussa on myös oma asetus, kun tila on kauan tyhjiällä, esimerkiksi lomamatkan ajan. (Fortum 2016) Tilan ollessa tyhjä, ei lämmitystä tarvitse säädellä asumisolojen perusteella, vaan lämpötila voi vaihdella huomattavasti sähkön hintojen perusteella. Palvelua tarjotaan myös loma-asunto käyttöön, jolloin kauempanakin olevan mökin lämpötilaa voidaan säätää helposti ja tarkasti internetin välityksellä. Tilan sisäilmaolosuhteita voidaan myös valvoa ja tarkastella internetissä (Fortum 2015a). Palvelu voi antaa hälytyksiä, kun lämpötila laskee alas, tai jos järjestelmässä itsessään on ongelma

(Fortum 2016). Tämä vähentää kosteus- ja vesivahinkojen todennäköisyyttä, koska ongelmiin voidaan reagoida nopeasti. Mukavuutta lisää myös se, että tilan lämpötila voidaan säätää haluttuun tasoon jo ennen paikalle saapumista.

Fortum Fiksua myydään myös öljylämmitteisille rakennuksille. Palvelu on lähtökohtaisesti samanlainen kuin sähkölämmiteisillä rakennuksilla, palvelu vain ohjaa lämmityskuormina öljykattilaa ja sen lisälämmitysvastusta. Ohjausyksikkö ottaa muiden tietojen lisäksi huomioon öljyn hinnan ja vertaa sitä sähkön hintaan. Kun sähkö on halvempaa, käytetään öljykattilan lämmitysvastuksia. Jos öljy taas on halvempaa, poltetaan öljyä. Öljylämmittäjä maksaa palvelun laitteista 690 € ja asennuksesta 220 €, joten järjestelmä on hieman sähkölämmitteistä palvelua halvempi. (Fortum 2013) Hintairo on kuitenkin vain 170 € ja kuukausimaksu on sama. Laitteistojen elinkaarikustannukset ovatkin likimain yhtä suuret, kun laitteiden oletetaan kestävän esimerkiksi 10-15 vuotta. Öljylämmityksen ympäristövaikutuksiin voidaan vaikuttaa paljon käyttämällä sähköä öljyn sijaan, varsinkin sähkön ollessa halpaa.

Fortum Fiksu on kysyntäjoustop näkökulmasta erittäin hyvä palvelu. Fiksua ei saa käyttöön ilman Elspot-sopimusta ja tasevastuullinen on selvästi nimettävissä, koska Fortum on molemmissa sopimuksissa toisena osapuolena. Muutkin vastuut ja velvollisuudet ovat selkeitä, koska sopimussuhteen väliin ei tule ylimääräistä toimijaa. Toisaalta Fortum Fiksu saattaa rajoittaa kuluttajan toimintaa. Kuluttajan investoidessa yli tuhat euroa järjestelmään, joka on sidottu tiettyyn sähkösopimukseen, sitoutuu kuluttaja käytännössä vähintään laitteiden käyttöön ajaksi palveluun. Jos sähkönsopimuksen ehdot tai hinnat huononevat merkittävästi tulevaisuudessa tai palvelu ei vastaa odotuksia, ei kuluttaja voi vaihtaa sähkönmyyjää tai palveluntarjoajaa. Ainakaan jos kuluttaja haluaa jatkaa palvelun käyttöä, eikä halua rikkoa sopimusehtoja. Kysyntäjoustarjestelmät tulisikin yhtenäistää, jotta kuluttajalla olisi todelliset mahdollisuudet vaihtaa palveluntuottajaa.

Optiwatti on toimintaperiaatteeltaan melko lähellä Fortum Fiksua. Järjestelmä ohjaa asunnon lämpötilaa sääennusteen, sähkön hinnan ja käyttäjän asetuksien perusteella. Erona Fiksuun on huonekohtainen lämpötilan ohjaus, jossa huoneisiin asennetaan omat säätimet ja lämpömittarit, ja järjestelmä hallitsee jokaista huonetta erikseen. Palvelun säätömahdollisuudet ovat likimain samanlaiset kuin Fiksussa. Huonekohtainen ohjaus saattaa mahdollistaa suuremmat säästöt, koska osa huoneista voi olla viileämpiä kuin toiset. Optiwatti toimii vain sähkölämmityksellä, eikä sitä ole saatavilla vesikiertoiselle sähkölämmitykselle tai öljylämmitykselle. Merkittävin ero Fortumin palveluun kuitenkin on, että Optiwattia ei ole kytketty mihinkään tiettyyn sähkösopimukseen. Optiwatti ei siis vaadi Elspot-sopimusta toimiakseen. Kun käytössä on Elspot-sopimus, voidaan Optiwatilla saada kuitenkin suurempia säästöjä verrattuna normaaliin sähkösopimukseen. (Optiwatti 2017) Tämä vapaus parantaa kuluttajan asemaa sähkömarkkinoilla, koska kuluttaja saa kilpailuttaa sähkönmyyjänsä vapaasti. Tilanne on kuitenkin markkinoiden kannalta ongelmallisempi, koska tasevastuullisen määrittäminen on hankalaa. Lisäksi on huomattava, että pelkkä Optiwatti palvelu ei ole kysyntäjoustopia. Ilman Elspot-sopimusta sillä

ainoastaan ohjataan tilan lämmitystä. Optiwatin hinta vaihtelee säädettävien huoneiden lukumäärän mukaan (Optiwatti 2017). Ohjattavien huoneiden lukumäärä vaihtelee neljästä yhdeksään ja hinta 1200-1950 €. Hinnat sisältävät asennuksen. Palvelun kuukausimaksu on viisi euroa. (Optiwatti 2017)

Jäspi Älyvaraajan toimintaperiaate eroaa Fortum Fiksusta ja Optiwatista huomattavasti. Palvelu ohjaa ainoastaan käyttöveden lämmitystä (Jäspi 2017a). Käyttöveden ominaispiirre on jatkuva käyttö verrattuna tilojen lämmittämiseen. Älyvaraaja sopiikin niihin kiinteistöihin, joissa lämmityksessä joustaminen on hankalaa, kuten puu- tai hakelämmitteisille taloille. Älyvaraajan ohjaus toimii internetin välityksellä, missä voidaan säätää varaajan lämpötilaa ja muita asetuksia (Jäspi 2017a). Varaajalle voidaan ilmoittaa esimerkiksi lomamatkan lähtö- ja saapumispäivät, jolloin varaaja osaa lämmittää käyttöveden oikeaan aikaan. Varaajassa on myös vuotovahti, joka ilmoittaa mahdollisista vuodoista hyvissä ajoin, mikä tärkeää vesivahinkojen välttämiseksi. (Jäspi 2017a)

Älyvaraajassa on kysyntäjousto-ominaisuus, joka ottaa huomioon sähkönhinnan vaihtelut ja ajoittaa käyttöveden lämmityksen halvoille tunneille. Tämä ominaisuus on kuitenkin mahdollinen vain Premium-paketissa. Premium-paketissa ei ole käyttömaksuja, mutta sen saadakseen on tehtävä sähkösopimus Vaasan Sähkön kanssa. (Jäspi 2017b) Tämä ei kuitenkaan sido kuluttajaa sähkösopimukseen, vaan sähkönmyyjää saa halutessaan vaihtaa. Se kuitenkin tarkoittaa, että kysyntäjousto ominaisuus poistuu silloin valikoimasta. Premiumin lisäksi Älyvaraajalle on kaksi palvelupakettia Open ja Standard (Jäspi 2017b). Open on ilmainen, mutta sen ominaisuudet ovat rajatut. Ilmaisella palvelulla saa vain varaajan etäsäädöt, mutta varaaja ei ilmoita mitään tietoja sovellukselle. Standard-paketti maksaa 5,95 € kuukaudessa ja silloin varaaja antaa paljon tietoa kulutuksestaan, vuodoista ja varaajan yleisestä kunnosta. Älyvaraaja saapuu kaappoihin keväällä 2017. (Jäspi 2017b)

### 3.3 Aineisto

Laskennassa käytettiin aineistona Nordpoolin viimeisen 12 kuukauden Elspot-hintoja. (NordPool 2017). Laskennassa käytettiin kuukausien keskihintoja. Oletuksena oli, että puolet kuukauden tunneista ylittää ja puolet alittaa keskihinnan. Tällöin oletettiin, että kuormanohjaukset voidaan kohdistaa kuukauden sisällä halvempaan puolikkaaseen. Laskettua keskihintaa käytettiin laskennassa Fortum Fiksun energian hintana, mihin lisättiin Fortumin välityspalkkio 0,3 c/kWh. Laskennassa oletettiin myös, että laskettu 12 kuukauden keskihinta vastaa kalleinta sähkönhintaa, kun lämmitys on käytössä. Tästä johtuen lasketut säästöt ovat tältä osin varmalla puolella ja suurempiakin säästöjä on mahdollista saavuttaa. Vertailua varten valittiin Fortum Kesto -sopimus (Fortum 2017a). Fortumilla on tuotteina sekä normaalia että Elspot-sopimusta, joissa molemmissa on sama kuukausimaksu. Näin saatiin poistettua kuukausimaksun aiheuttama hintojen vaihtelu. Siirtohinnat valittiin Tampereen alueen hinnoiksi, ja ne saatiin Tampereen sähkölaitoksen sivuilta (Tampereen Sähkölaitos 2016). Tulokset koottiin taulukkoon 1.

**Taulukko 1.** Laskennassa käytetyt sähkön ja siirron hinnat. Sis. alv. 24%.

Fortum kesto-sopimus + Tampereen sähkölaitoksen siirtosopimus	c/kWh	€/kk
Energianhinta	6,49	4,02
Siirtohint	2,939	3,46
Yhteensä	9,429	7,48
Fortum Fiksu-sopimus + Tampereen sähkölaitoksen siirtosopimus	c/kWh	€/kk
Energian hinta	3,844	4,02
Siirtohint	2,939	3,46
Palvelumaksu	-	9
Yhteensä	6,783	16,48

Sähkön kustannuksia arvioidessa käytettiin taulukon 2 mukaista pientaloa. Esimerkkitalon arvoja arvioitiin Motivan laskurin avulla (Motiva 2016a).

**Taulukko 2.** Laskennassa käytetyn pientalon tiedot.

Sijainti	Tampereen seutu
Pohjapinta ala	120 m <sup>2</sup>
Rakennusvuosi	2000 luvun alku (2003-2009)
Asukasmäärä	4 hlö
Huonekorkeus	2,5 m
Sähköenergian kokonaistarve vuodessa	25 000 kWh
Tilojen ja käyttöveden lämmityksen osuus	0,70 – 0,75
Lämmitysenergian kokonaistarve vuodessa	15 000 kWh
Lämmitystapa	Suora sähkölämmitys

Erilaisten sähkölämmitysmuotojen vaikutuksia energian hintaan pohdittiin niiden kuormanohjausmahdollisuuksien perusteella. Tavoitteena oli selvittää, miten erilaiset varauskapasiteetit vaikuttavat sähkön keskihintaan. Työssä oletettiin, että varaava sähkölämmitys sallii lämmityksen poiskytkennän 15 tunniksi, eli niin sanotuksi päiväajaksi. Osittain varaavan lämmityksen oletettiin sallivan kuuden tunnin kuormanohjaus. Suora sähkölämmitys sallii lyhyimmät poisohjaukset. Laskelmissa oletettiin suoran sähkölämmityksen sallivan maksimissaan kolmen tunnin ohjaukset, jotta asumismukavuus ei kärsisi. Suorassa lämmityksessä oletettiin kuormanohjausta seuraavan yhtä pitkä lämmitysjakso, jonka jälkeen kuormaa voidaan taas ohjata. Osittain varaavassa lämmityksessä ei asetettu näin tiukkaa ehtoa, vaan lämmitys kytkettiin päälle useammaksi tunniksi kuormanohjauk-

sen jälkeen. Osittain tai kokonaan varaavissa lämmityksissä voidaan kohdistaa lämmitysjaksot paremmin niille tunneille, kun sähkö on halpaa, verrattuna suoraan sähkölämmitykseen. Lämmitysmuotojen eroja arvioitiin NordPoolin tietojen perusteella, aikavälinä käytettiin kuvan 1 päiviä (NordPool 2017). Tulokset on esitetty taulukossa 3.

Näillä oletuksilla laskettiin sähkön keskihinta niille tunneille, kun lämmitys on päällä. Tämän jälkeen saatua keskihintaa verrattiin taulukon 1 mukaiseen vuorokauden keskihintaan, jolloin saadaan esille kuormanohjauksien ajoituksesta johtuva kustannusvaikutus. Riippumatta lämmitysmuodosta pieneni kaikissa kolmessa vaihtoehdossa sähkön keskihinta. Suoralla sähköllä vaikutus on noin 4 %, osittain varaavalla lämmityksellä 7 % ja varaavalla jopa 9 %. Nämä arviot ovat vain suuntaa-antavia, mutta niistä nähdään eri lämmitysmuotojen eroja. Kustannusvaikutuksista todennäköisin on varaavan lämmityksen arvio, koska hintojen vaihtelu yöaikaan on paljon pienempää kuin päivällä. Lisäksi sähkön hinta on yleensä yöllä alhaisempi. Epävarmin arvio on suoralla sähkölämmityksellä. Suoraan sähkölämmitykseen vaikuttaa huomattavasti enemmän sähkön hinnan vaihtelut ja hintahuippujen kestot, koska lämpöä ei voida varata suuria määriä. Suorassa sähkölämmityksessä korostuukin kysyntäjoustopalveluiden merkitys, jotta kuormanohjaukset voidaan optimoida sekä sähkön hinnan että asumistottumusten mukaisesti.

Laskennassa on myös otettava huomioon eri lämmitysmuotojen häviöt sekä lämmönjakelussa että -luovutuksessa. Lisäksi järjestelmien säädöt aiheuttavat hyötysuhteen pienemisen. Ympäristöministeriön mukaan suoran lämmityksen hyötysuhde on 0,95 ja varaavan lattialämmityksen hyötysuhde on noin 0,8, kun lattia on maan vastainen rakenne. (Ympäristöministeriö 2013) Osittain varaavalle lämmitykselle annettiin 0,9 hyötysuhde, koska ohuemmalla betonilaatalla hukkalämpöä tulee huomattavasti vähemmän. Taulukossa 3 esitetään sekä hyötysuhteilla korotetut lämmitysenergian tarpeet että lämmitysmuotojen vaikutus sähkönhintaan. Viimeiseksi on verrattua kunkin lämmitysmuodon kustannusvaikutusta taulukkojen 1 ja 2 mukaiseen tapaukseen.

**Taulukko 3.** Eri lämmitysmuotojen vaikutukset sähköenergian tarpeeseen ja sähkön hintaan. Sis. alv. 24 %

	Hyötysuhde	Todellinen sähkö- energian tarve	Kustannus- vaikutus	Sähkön hinta	Vaikutus läm- mityskuluihin
		kWh/a		c/kWh	%
Suora lämmitys	0,95	15750	0,96	6,629	103
Osittain varaavaa lämmitys	0,9	16500	0,93	6,513	106
Varaava lämmitys	0,8	18000	0,91	6,436	114

Taulukosta 3 nähdään, että suora sähkölämmitys vastaa likimain taulukossa 1 arvioitua sähkön hintaa. Laskennassa on monia epävarmuustekijöitä, mutta näillä oletuksilla vaikuttaa siltä, että suurempi varauskapasiteetti tarkoittaa suurempia lämmityskuluja. Tulokseen vaikuttaa merkittävästi valitut hyötysuhteet, joka kasvattaa erityisesti varaavan lämmityksen kustannuksia. Varaavan lämmityksen kustannusten kasvu vaikuttaa todella merkittävältä, ja on syytä epäillä varaavan lämmityksen hyötysuhdetta. Tuloksista nähdään myös, että taulukossa 1 esitetty keskihinta on melko realistinen arvio, kun lämmitysmuotona on suora sähkölämmitys.

## 4. TULOKSET JA NIIDEN TARKASTELU

Kysyntäjoustopalveluiden taloudellista vaikutusta pientalon sähkökustannuksiin selvitettiin ensin kuormanohjauksien osalta. Tämän jälkeen huomioitiin myös kysyntäjoustopalveluiden mahdollisuudet sähkönkäytön vähenemiseen, mikä osaltaan kasvattaa kysyntäjoustopalveluiden vaikutuksia. Kuormanohjauksien osalta selvitettiin teoreettisesti, voidaanko kysyntäjoustopalveluilla saavuttaa säästöjä sähkölaskussa. Esimerkkitalon sähkönkulutus on esitetty taulukossa 2 ja sähkösovitukset esitellään taulukossa 1. Arvoilla laskettiin ensin sähkölasku kestopitovälikäytöllä, johon verrattiin kysyntäjoustopalveluilla saatavia sähkökustannuksia. Kuormanohjaukset eivät aina onnistu ja erityisesti varaavan lämmityksen kulutus on taulukon 3 mukaisesti keskiarvoa korkeampi. Tästä johtuen laskettiin kysyntäjoustopalveluiden sähkölasku sekä Elspot-sovituksen keskihinnalla että 25 % korotetulla keskihinnalla. Kysyntäjoustopalvelu A tarkoittaa keskihinnalla laskettua kustannusta ja kysyntäjoustopalvelu B korotetulla keskihinnalla laskettua kustannusta. Kun kysyntäjoustopalveluiden vaikutuksia arvioidaan myös korotetulla keskihinnalla, saadaan todenmukaisempi kuva, ja nähdään kuormanohjauksien merkitys. Tulokset on esitetty taulukossa 4.

**Taulukko 4.** Lämmityksen ja koko sähkönkäytön kustannukset esimerkkitalossa kysyntäjoustopalveluilla ja ilman. Kaikki hinnat sisältävät verot.

		Ilman kysyntäjoustopalvelua	Kysyntäjoustopalvelu A	Kysyntäjoustopalvelu B
Lämmityksen kulutus	kWh/a	15000	15000	15000
Sähkön hinta (sis. siirrot)	c/kWh	9,429	6,783	8,479
Palvelumaksu	€/kk	0	9	9
Kuukausimaksu	€/kk	7,48	7,48	7,48
Energian kustannus	€/a	1414	1017	1272
Lämmityksen kustannus (sis. kk maksut)	€/a	1504	1215	1470
säästö	€	0	289	34
säästöprosentti	%	0	19	2
sähkön kokonaiskulutus	kWh/a	25000	25000	25000
Kokonaisenergian kustannus	€/a	2447	1894	2318
Säästö	€	0	553	129
Säästöprosentti	%	0	23	5

Taulukosta 4 nähdään, että kysyntäjoustopalveluilla voidaan saada säästöjä lämmityskuluihin. Kysyntäjoustopalveluiden avulla siirretään sähkönkulutusta pois kulutushuipuista, jolloin sähkön hinta on korkea. Tällöin kysyntäjoustopalveluilla voidaan pienentää sähkön hintaa. Yksikköhinta

onkin tärkein tekijä kysyntäjouaston taloudellista kannattavuutta arvioidessa. Jos lämmityskuormat saadaan ohjattua aina Elspot-markkinoiden keskihinnolle, voidaan taulukon 4 mukaisesti saada jopa 20 % säästöt verrattuna kesto-sopimuksen. Tähän ei todennäköisesti päästä, koska kuormanohjaukset eivät aina onnistu. Myös sähkön päivittäisillä hintavaihteluilla ja asumistottumuksilla on suuri merkitys kuormanohjauksien vaikutuksiin. Näitä vaikutuksia on kuitenkin mahdotonta arvioida ennalta. Palveluiden kuukausimaksut ovat kokonaisuuteen nähden melko mitättömiä, vuositasolla palvelu maksaa noin 110 €. Tämä vastaa esimerkissä noin 7 % kesto-sopimuksella aiheutuneista lämmityskustannuksista.

Laskelmilla saatua 2 - 19 % säästöpotentiaalia voidaan pitää oikean suuntaisena, kun kuormanohjauksia tehdään Elspot-markkinoilla. Silloin seuraavan päivän hinnat tiedetään jo hyvissä ajoin, ja ohjausjaksojen optimoinnille on aikaa. Jos kysyntäjousta käytettäisiin jollain muulla markkinapaikalla, voisivat säästöt olla suurempiakin. Mitä nopeammille markkinoille mennään, sitä todennäköisemmäksi tulee kuitenkin kuormanohjauksen epäonnistuminen. Tällöin sähkön hinta saattaa nousta huomattavasti, ja kuormanohjaus saattaa kasvattaa sähkön keskihintaa. Laskelmat ovat kuitenkin hyvin teoreettisia ja karkeita, eikä tuloksia voida siitä syystä pitää realistisina. Kysyntäjouaston säästöpotentiaalit ovat suoraan verrannollisia sähkön hintojen kehitykseen. Sähkön hintojen vaihtelua ei kuitenkaan voida pitkällä aikavälillä ennustaa tarkasti, ja kysyntäjouaston tulevaisuuden potentiaaleja onkin vaikea arvioida. Tulevaisuuden ennusteissa kuitenkin arvioidaan kulutushuippujen kasvavan, mikä lupaisi hyvää kysyntäjouastolle.

Kysyntäjoustopalveluilla säästöpotentiaali voi kasvaa huomattavasti, kun kuormanohjauksen lisäksi lämmitystä ohjataan älykkäästi. Tällöin vältetään yli- ja alilämmitys sekä voidaan asettaa tilojen lämpötilat huomattavasti perinteisiä säätötapoja tarkemmin. Tämä kasvattaa säästöpotentiaalia, koska laskemalla tilojen lämpötilaa yhden asteen säästyy 5 % energiaa. Tilojen lämpötilan voidaan myös antaa hallitusti vaihdella, esimerkiksi laskea työpäivän ajaksi. Tämä saattaa osaltaan kasvattaa säästöpotentiaalia. Markkinoilla olevat kysyntäjoustopalvelut yleisesti korostavat tällaisen kuormiensaätelyn merkitystä säästöjen syntymisessä. Tätä on kuitenkin hankala arvioida ennalta, koska siihen vaikuttaa suuresti muun muassa asumistottumukset sekä käyttäjän aktiivisuus palvelun käytössä. Esimerkkinä Optiwatti lupaa kuitenkin jopa 40 % säästöjä huoneiden lämmitykseen (Optiwatti 2017). Näin suuriin säästöihin pääseminen vaatii käyttäjältään ja lämmitettäviltä tiloilta luultavasti huomattavia panostuksia. Tämän takia säästöpotentiaalit laskettiin taulukkoon 5 sillä oletuksella, että lämmityksen kulutusta saadaan laskettua 20 %. Tämä ajateltiin realistiseksi arvioksi, koska laskemalla tilojen lämmitystä kaksi astetta saadaan jo 10 % säästöt. Toiset 10 % voidaan saada esimerkiksi lämmityksen tarkemmasta ohjauksesta, kun ulkolämpötila ja vaihtoehtoiset lämmitysmuodot kuten takka voidaan huomioida lämmityksessä.



**Taulukko 5.** Kysyntäjousto palveluilla saatava säästöpotentiaali, kun lämmityksen energian kulutus pienenee 20 %. Sis. alv. 24%

		Ilman kysyntäjoustoa	Kysyntäjousto A	Kysyntäjousto B
Lämmityksen kulutus	kWh /a	15000	15000	15000
Säästöpotentiaali	%	0	20	20
Todellinen lämmityksen kulutus	kWh/a	15000	12000	12000
Sähkön hinta	c/kWh	9,429	6,783	8,479
Palvelumaksu	€/kk	0	9	9
Kuukausimaksu	€/kk	7,48	7,48	7,48
Energian hinta	€/a	1414	814	1017
Lämmityksen hinta	€/a	1504	1012	1215
säästö	€	0	492	289
säästöprosentti	%	0	33	19

Jos lämmityksen energiankulutusta saadaan pienennettyä 20 %, ja kuormanohjaukset onnistuvat pääpiirteissään, voidaan siis päästä jopa 20 - 30 % säästöihin vuotuisissa lämmityskustannuksissa. Tämä tarkoittaa esimerkkitapauksessa lähes 500 € rahallista säästöä vuositasolla. Vaikka tulokset ovat teoreettisia, voidaan niitä pitää oikean suuntaisina, erityisesti kun kuormia ohjataan moderneilla palveluilla. Tällöin kuormanohjaukset tapahtuvat reaaliaikaisesti ja palvelut pystyvät myös lähettämään tietoja palvelulle. Tällöin palvelu pystyy kehittymään ja parantamaan kuormanohjauksien optimointia juuri tietyille rakennukselle.

Näiden tulosten perusteella näyttää, että kysyntäjoustopalvelu on hyvä investointi, varsinkin pientaloissa, jossa on suora sähkölämmitys. Jopa 500 € vuosittaisilla säästöillä palvelun alkuinvestointi maksaa itsensä takaisin 2-5 vuodessa, riippuen palvelusta ja valitavasta laitteistokokonaisuudesta. Tätä voidaan pitää melko hyvänä takaisinmaksuaikana. Varsinkin jos verrataan lämmitysjärjestelmän vaihtamisesta aiheutuviin investointi- ja remonttikustannuksiin. Kysyntäjoustopalvelu on näiden laskelmien mukaan myös hyvä vaihtoehto ilmalämpöpumpulle. Tulokset ovat kuitenkin vain suuntaa-antavia, eikä todellisia säästöpotentiaaleja voida ennustaa tarkasti. Jokainen talo ja talonomistaja ovat yksilöitä, ja molempien vaikutus palvelusta saataviin hyötyihin on merkittävä. Ainut keino todella saada selville palvelun hyödyt tietyssä rakennuksessa, on investoida järjestelmään ja seurata sähkökustannuksien kehittymistä.

## 5. YHTEENVETO

Kysyntäjouaston tarkoituksena on ensisijaisesti pienentää verkon huippukuormia ja siten parantaa verkon toimivuutta. Entistä kehittyneempien kuormanohjaus tapojen ja kysyntäjousto palveluiden avulla voidaan kysyntäjousto lisätä pientaloissa. Merkittävin kohde pientaloissa ovat erilaiset sähkölämmitykset ja niiden ohjaus.

Tämän selvityksen perusteella kysyntäjouaston lisäämiselle pientaloissa on hyvät lähtökohdat. Pientalon omistaja voi säästää huomattavia summia vuosittaisissa lämmityskustannuksissaan, ottamalla käyttöön jonkin markkinoilla olevista palveluista. Parhaassa tapauksessa palveluntuottaja on samalla sähkönmyyjä. Palvelun voi ostaa myös ulkopuoliselta operaattorilta, mutta sähköverkon kannalta on parempi, kun myyjä hallitsee itse omaan taseeseensa kuuluvia kysyntäjousto resursseja. Operaattorin kanssa ongelmaksi muodostuu vastuiden ja velvollisuuksien kohdistaminen ja tasevastuullisen määrittäminen. Tämä saattaa muuttua, jos lainsäädäntöä päivitetään siten, että se tunnistaa myös tämän kaltaisen operaattorin. Kysyntäjoustopalveluiden tuottajien tulisi ehdottomasti muodostaa alalle yhteiset toimintatavat ja standardit, jotta laitteistot olisivat yhtenevät. Nyt jokaisella palveluntuottajalla on oma järjestelmä, ja se rajoittaa se kuluttajan asemaa. Nyt palveluntarjoajan vaihtaminen tulee liian työlääksi ja kalliiksi, koska aina on investoitava uuteen järjestelmään. Tällä hetkellä on vain muutamia palveluntuottajia, joten kysyntäjoustopalveluiden yhtenäistäminen tulisi tehdä pian, ennen markkinoiden mahdollista kasvua.

Laskelmissa kysyntäjoustopalveluilla saatiin jopa 30 % säästöjä vuosittaisiin lämmityskustannuksiin. Näin suuriin säästöihin pääseminen ei ole todennäköistä, mutta tuloksista nähdään, että kysyntäjoustopalveluilla voidaan saada huomattavia säästöjä. Nykyisillään palveluiden kuukausimaksut ovat melko pieniä, eivätkä ne siis juurikaan vähennä kysyntäjoustopalvelusta saatavaa hyötyä. Jopa 500 € säästöt vuosittaisiin lämmityskuluihin on merkittävä saavutus, varsinkin suhteessa investoinnin arvoon 1000-2000 €. Tämän suuruinen säästö on laskelmien mukaan teoriassa mahdollinen saavutus. Täten voidaankin sanoa, että kysyntäjoustopalvelu vaikuttaa hyvältä investoinnilta, kunhan huomioidaan tutkimuksessa käytetyt oletukset.

Suurin kysymysmerkki kysyntäjouaston kannattavuudelle on sähkön hinnan kehitys tulevaisuudessa. Riippuen hintojen kehityksestä saattaa kysyntäjoustopalvelusta tulla entistä kannattavampaa tai kaikki kysyntäjouaston taloudelliset hyödyt saattavat kadota. Tulevaisuuden ennusteissa kuitenkin huippukulutus kasvaa, kun kokonaiskulutus toisaalta vähenee. Tällainen kulutuskehitys kasvattaa todennäköisesti kysyntäjouaston potentiaalia. Fingrid tahoo luopua markkinoiden tiukasta aikaohjauksesta ja siirtyä enemmän reaaliaikaiseen ohjaukseen, mikä saattaa osaltaan myös johtaa kysyntäjouaston lisääntymiseen jatkossa. Koska sähköntuotannon vaihtelu tulee tulevaisuudessa kasvamaan, tarvitaan enemmän

joustavaa kuormaa. Jos sähkömarkkinoita kehitetään Fingridin toiveiden mukaisesti, kasvaa kysyntäjoustopalveluiden markkina-alue huomattavasti. Tulevaisuudessa saattaa olla, että sähkösopimukset ovat pääosin kaikki pörssihinnoiteltuja. Pörssihinnoiteltujen sähkösopimusten kanssa kysyntäjoustopalvelu on lähes ehdoton, mikäli sähkönhinta halutaan pitää kurissa. Ilman palvelua sähkönkulutus saattaa ajoittua aina kalleimmille tunneille, jolloin sähkökustannukset kasvavat merkittävästi.

Verkkoyhtiöiden siirtotariffien muutos tehopohjaisiksi on kuitenkin ehtona kysyntäjouston lisääntymiselle. Ilman tehopohjaisia siirtomaksuja saattavat verkon kuormitukset kasvaa liian suuriksi, mikä pakottaisi verkkoyhtiöt investoimaan esimerkiksi suurempiin muuntajiin. Nämä investoinnit maksatettaisiin nostamalla verkon siirtomaksuja, mikä saattaisi syödä kaikki kuormienohjauksista saatavat säästöt.

Palveluiden tuottajien tulisi ehdottomasti jatkaa tuotekehittelyään, jotta palvelusta saataisiin mahdollisimman helppokäyttöinen. Suuri riski palvelulle on liian vaikea käyttöliittymä, joka vaatii asiakkaalta liikaa panostusta. Jos säästöt jäävät lisäksi odotettua pienemmiksi, kasvaa halu luopua palvelusta riippumatta alkuinvestoinnin suuruudesta.

Kysyntäjouston mahdollisuudet pientaloissa, joissa sähköä ei voida käyttää rakennuksen lämmityksessä, näyttävät melko vähäisiltä. Suurimmat potentiaalit sijaitsevat käyttöveden lämmityksessä ja mahdollisesti ilmanvaihtokoneiden ohjauksessa. Käyttöveden lämmitykseen sopiva Jäspi Älyvaraaja voi olla erinomainen valinta kysyntäjouston näkökulmasta, mutta sen hinnasta ei ole vielä tietoa. Täten sen kannattavuutta verrattuna perinteiseen lämminvesivaraajaan ei voida vielä arvioida. Käyttöveden lämmitys on kysyntäjouston kannalta kuitenkin erinomainen kohde, koska käyttövettä on lämmitettävä ympäri vuoden ja siihen saadaan helposti sidottua lämpöä, mikä mahdollistaa pitkät ohjausjaksot. Tulevaisuudessa pientalot tulevat olemaan suurelta osin nZEB-taloja, joissa ilmanvaihto on toteutettava koneellisesti. Tämä saattaa osaltaan kasvattaa talojen sähkönkulutusta, ja onkin tärkeää selvittää iv-koneiden kysyntäjousto-ohjauksen mahdollisuuksia. Pientalojen valaistuksen tai muun sähkökuorman ohjaus kysyntäjouston avulla on todennäköisesti melko mitätöntä. Valaistus siirtyy jatkossa suurelta osin LED-lamppuihin, joten valaistuksen sähkönkulutus tulee todennäköisesti laskemaan huomattavasti. Ellei esimerkiksi piha-alueiden valaistus tule kasvamaan todella merkittävästi. Viihde- ja talouskuorman joustaminen kysynnän mukana taas on luultavasti mahdotonta, ainakaan siinä laajuudessa ja sellaisella ennustettavuudella, että sitä voitaisiin käyttää kysyntäjousto resurssina.

Tutkimus tehtiin kirjallisuuskatsauksena, jota tuettiin teoreettisella laskennalla. Jatkotutkimuksena tulisi tehdä Case-tutkimusta, josta voitaisiin saada todellisia arvioita palveluiden hyödyistä ja haitoista kuluttajille ja muille osapuolille.

Tulevaisuuden pientalossa sähköenergian käyttö tulee olemaan merkittävästi erilaista kuin nykyään. nZEB-talot muuttavat energiamarkkinoita paljon, koska suurempi osa tuo-

tannosta siirtyy kulutuspaikan yhteyteen, samalle tontille. Tällöin ostoenergian pitäisi kokonaisuudessaan olla hyvin vähäistä, joten pientuotanto ja erilaiset energian varastointiratkaisut tulevat entistä tärkeämmäksi. Kun taloissa on merkittävä määrä akkuja, tulee kysyntäjousto entistä merkittävämmäksi sähkökustannuksien hallitsemiseksi. Jos kiinteistöllä voidaan varastoida esimerkiksi vuorokauden sähköntarve, on akustojen lataus erityisen tärkeää kohdistaa halvoille tunneille. Oman lisänsä varastointikapasiteettiin tuovat sähköautot ja niiden akut. Kun autojen akkujen lataus toteutetaan älykkäästi, saadaan niillä merkittävästi lisättyä kiinteistön varastointikapasiteettia. Tulevaisuudessa kysyntäjoustopalvelut tulevat todennäköisesti sähkösopimuksen yhteydessä ja siihen sidottuina. Tällöin jokaisella sähkömyyjällä on oma palvelukonseptinsa ja niiden välillä on todellista kilpailua. Kuluttaja voi vaihtaa kysyntäjoustopalveluiden välillä yhtä helposti, kuin vaihtaa sähköliittymää. Kysyntäjouston hyötyjä lisää verkon tehomaksut, joilla pidetään huolta verkon riittävydestä. Älykkäällä ohjauksella varmistetaan, että sähköä otetaan verkosta vain, kun se on halpaa ja, että kiinteistön käyttämä teho ei pääse kasvamaan liiaksi.

## LÄHTEET

Energiateollisuus ry (2005). VESIVOIMATUOTANNON MÄÄRÄ JA LISÄÄMISMAHDOLLISUUDET SUOMESSA, Saatavissa (viitattu 5.4.2017): <https://www.motiva.fi/files/700/vesivoimatuotannon-maara-ja-lisaamismahdollisuudet-suomessa.pdf>.

Energiateollisuus (2016). Sähkön hinta pähkinänkuoressa, Saatavissa (viitattu 5.4.2017): [http://energia.fi/files/624/Sahkon\\_hinta\\_-esite.pdf](http://energia.fi/files/624/Sahkon_hinta_-esite.pdf).

Eurooppa-neuvosto (2014). Eurooppa-neuvoston päätelmät 23. ja 24. lokakuuta 2014, Publications Office, Luxembourg, Saatavissa (viitattu 5.4.2017): [http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms\\_data/docs/pressdata/fi/ec/145409.pdf](http://www.consilium.europa.eu/uedocs/cms_data/docs/pressdata/fi/ec/145409.pdf).

Fingrid (2017). Taajuuden ylläpito sähköjärjestelmässä, Saatavissa (viitattu 6.3.2017): [http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/Sivut/ABCTaajuuden\\_yl-lapito.aspx](http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/Sivut/ABCTaajuuden_yl-lapito.aspx).

Forsberg, C. (2013). Hybrid systems to address seasonal mismatches between electricity production and demand in nuclear renewable electrical grids, Energy Policy, Vol. 62 pp. 333-341. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513007003>.

Fortum (2013). Öljy- vai sähkölämmitys? Fiksu tietää, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): [https://asiakkaalle.fortum.fi/energiansaasto/oljy-vai-sahkolammitys-fiksu-valitsee-puolestasi/?\\_ga=1.2690864.1083557576.1489574209](https://asiakkaalle.fortum.fi/energiansaasto/oljy-vai-sahkolammitys-fiksu-valitsee-puolestasi/?_ga=1.2690864.1083557576.1489574209).

Fortum (2015a). Fortum Fiksu Mökin omistajalle - mielenrauhaa, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): <https://www.fortum.com/countries/fi/energiansaasto-ja-ratkaisut/fiksu-koti-automaatio/fortum-fiksu-mokin-omistajalle/pages/default.aspx>.

Fortum (2015b). SOPIMUSEHDOT, FORTUM FIKSU SÄHKÖLÄMMITTÄJÄLLE / ÖLJYLÄMMITTÄJÄLLE, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): [https://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Sahkon-myynti/Sopimusehdot%20Fortum%20Fiksu%20s%C3%A4hk%C3%B6+%C3%B6ljy%202015-01\\_lomake\\_FI.pdf](https://www.fortum.com/countries/fi/SiteCollectionDocuments/Sahkon-myynti/Sopimusehdot%20Fortum%20Fiksu%20s%C3%A4hk%C3%B6+%C3%B6ljy%202015-01_lomake_FI.pdf).

Fortum (2016). FORTUM FIKSU SÄHKÖLÄMMITTÄJÄLLE, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): [https://www.fortum.com/countries/fi/sitecollectiondocuments/energiatehokkuus/fortum%20fiksu%20sa%C3%88hko%C3%88la%C3%88mmitta%C3%88ja%C3%88lle%20suora%20-%20ka%C3%88ytto%C3%88ohje%201\\_0.pdf](https://www.fortum.com/countries/fi/sitecollectiondocuments/energiatehokkuus/fortum%20fiksu%20sa%C3%88hko%C3%88la%C3%88mmitta%C3%88ja%C3%88lle%20suora%20-%20ka%C3%88ytto%C3%88ohje%201_0.pdf).

Fortum (2017a). Fortum Kesto on suosituin sähkösopimuksemme, Saatavissa (viitattu 29.03.2017): <https://www.fortum.com/countries/fi/sahko/sahkosopimus/kesto-sopimus/pages/default.aspx>.

Fortum (2017b). Virtuaalivoimalaitos, Saatavissa (viitattu 27.3.2017): <https://www.fortum.com/fi/konserni/tutkimus-ja-kehitys/virtuaalivoimalaitos/sivut/default.aspx>.

Fortum (2017c). Fortum Fiksu tekee suorasta sähkölämmityksestä älykkään, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): <https://www.fortum.com/countries/fi/sahko/sahkosopimus/fortum-fiksu-sahkolammittajalle-suorasahko/pages/default.aspx>.

Fortum (2017d). Fortum Tarkka sopii taloudestaan tarkalle, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): <https://www.fortum.com/countries/fi/sahko/sahkosopimus/tarkka-sopimus/pages/default.aspx>.

Grip, K. (2013). Pienasiakkaan kysynnän jouston ja oman tuotannon vaikutukset kuormitusmalleihin, Tampereen teknillinen yliopisto, Available: <http://dspace.cc.tut.fi/dpub/handle/123456789/21665>.

Härkönen, J. (2015). Sähkömarkkinoiden tulevaisuus, Opinnäytetyö, KARELIA-AMMATTIKORKEAKOULU, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): <https://www.theseus.fi/handle/10024/95239>.

Järventausta, P., Repo, S., Trygg, P., Rautiainen, A., Mutanen, A., Lummi, K., Supponen, A., Heljo, J., Sorri, J., Harsia, P., Honkiniemi, M., Kallioharju, K., Piikkilä, V., Luoma, J., Partanen, J., Honkapuro, S., Valtonen, P., Tuunanen, J. & Belonogova, N. (2015). Kysynnän jousto - Suomeen soveltuvat käytännön ratkaisut ja vaikutukset verkko-yhtiöille (DR pooli): Loppuraportti, Tampereen teknillinen yliopisto,

Jäspi (2017a). Älyvaraaja- Ominaisuudet, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): <http://www.alyvaraaja.fi/alyvaraaja/ominaisuudet/>.

Jäspi (2017b). Älyvaraaja- Palvelupaketit, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): <http://www.alyvaraaja.fi/alyvaraaja/palvelupaketit/>.

Kankare, M. (2017). Sähköntuotannon tulevaisuus näyttää huolestuttavalta, Alma media, Talouselämä, 11 s.

Koistinen, A. (2017). Fingrid ehdottaa luopumista yö sähköhjouksesta – voi vaikuttaa satojentuhansien ihmisten sähkölaskuun, Saatavissa (viitattu 25.4.2017): <http://yle.fi/uutiset/3-9510982>

Lund, H., Marszal, A. & Heiselberg, P. (2011). Zero energy buildings and mismatch compensation factors, Energy and Buildings, Vol. 43(7), pp. 1646-1654. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778811000843>.

Motiva (2016a). Lämmitystapojen vertailulaskuri, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): [https://www.motiva.fi/koti\\_ja\\_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman\\_valinta/vertaile\\_lammitysjarjestelmia/pientalon\\_lammitystapojen\\_vertailulaskuri](https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/rakentaminen/lammitysjarjestelman_valinta/vertaile_lammitysjarjestelmia/pientalon_lammitystapojen_vertailulaskuri)

Motiva (2016b). Sähkölämmityksen tehostamisohjelma Elvari yllätti asiantuntijatkin – Suunnitelmallisuudella parhaat tulokset, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): [https://www.motiva.fi/files/10684/Sahkolammituksen\\_tehostamisohjelma\\_Elvari\\_yl-latti\\_asiantuntijatkin\\_Suunnitelmallisuudella\\_parhaat\\_tulokset.pdf](https://www.motiva.fi/files/10684/Sahkolammituksen_tehostamisohjelma_Elvari_yl-latti_asiantuntijatkin_Suunnitelmallisuudella_parhaat_tulokset.pdf).

NordPool (2017). Market data, Saatavissa (viitattu 23.3.2017):  
<http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/SYS1/Daily/>.

Nyman, M. (2013). Lähes nollaenergiarakennus, Saatavissa (viitattu 29.3.2017):  
[http://www.ril.fi/media/files/ret-tekniiikkaryhma/ret-130513-mikko\\_nyman.pdf](http://www.ril.fi/media/files/ret-tekniiikkaryhma/ret-130513-mikko_nyman.pdf).

Optiwatti (2017). OptiWatti on helppo tapa säästää sähkölämmityksessä, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): <https://www.optiwatti.fi/>.

Palola, I. (2016). Kysynnänjouston pilottiprojekti, There Corporation, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): <http://www.fingrid.fi/fi/sahkomarkkinat/markkinaliitteet/Kysynt%C3%A4jousto/Kysynna%CC%88njouston%20pilottiprojekti%20Loppuraportti%20Julkinen.pdf>.

Ruotsalainen, J. (2007). Kysyntäjousto sähkömarkkinoilla, TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO, Saatavissa (viitattu 29.3.2017): [http://butler.cc.tut.fi/~repo/Opetus/Projektityot/Jesse\\_Ruotsalainen\\_Kysyntajousto\\_sahkomarkkinoilla.pdf](http://butler.cc.tut.fi/~repo/Opetus/Projektityot/Jesse_Ruotsalainen_Kysyntajousto_sahkomarkkinoilla.pdf).

Tampereen Sähkölaitos (2016). SÄHKÖN VERKKOPALVELUHINNASTO Saatavissa (viitattu 29.3.2017): <https://www.tampereensahkolaitos.fi/sahkoverkkopalvelut/hinnastotjasopimusehdot/Documents/2016-08-01%20-%20Verkkopalveluhinnasto.pdf>.

Vanhanen, T. (2016). Valot päälle, bear & penguin ink, 236 s.

Ympäristöministeriö (2013). Rakennuksen energiankulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta, Saatavissa (viitattu 22.4.2017): [http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus](http://www.ym.fi/fi-FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakentamismaarayskokoelma/Energiatehokkuus),